

УДК 620.19

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ИНДЕНТИРОВАНИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ СОСТОЯНИЯ БИТУМА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ

Крень А.П.¹, Мацулевич О.В.¹, Делендик М.Н.², Гориченко С.Ф.³

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

²МИПК и ПК БНТУ

³УП «Мингаз»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Выполнен анализ влияния повышенной температуры на изменение механических характеристик битумно-мастичной изоляции газопроводов. Установлено, что коэффициент жесткости, определяемый при индентировании, обладает достаточной чувствительностью по отношению к другим показателям – индексу пенетрации и переходному электросопротивлению и может использоваться в качестве диагностического параметра.

Ключевые слова: битумная изоляция, старение, газопровод, микроударное индентирование.

ASSESSMENT OF THE SENSITIVITY OF INDENTATION PARAMETERS TO CHANGES IN THE STATE OF BITUMEN AT THE AGING

Kren A.P.¹, Matsulevich O.V.¹, Delendik M.N.², Gorichenko S.F.³

¹Institute of applied physics of the NAS of Belarus

²Branch of the Belarusian National Technical University "Intersectoral Institute for Staff Training and Retraining on Management and Personnel Development"

³UI "Mingas"

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. An analysis of the effect of elevated temperature on the changes of the mechanical characteristics of bitumen-mastic insulation of gas pipelines was carried out. It has been established that the coefficient of stiffness determined during indentation is sufficiently sensitive in relation to the other indicators – the penetration index and transient electrical resistance and can be used as a diagnostic parameter.

Key words: bitumen insulation, aging, gas pipeline, micro-impact indentation.

Адрес для переписки: Крень А.П., ул. Академическая, 16, г. Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: alekspk@iaph.bas-net.by

Индентирование широко применяется для измерения механических характеристик различных материалов: модуля упругости, прочности, твердости и др. При этом многими авторами показано, что вязкоупругий отклик материала на приложенное воздействие существенно меняется после его термического старения. Этот факт делает перспективным применение метода для оценки состояния битумно-мастичной изоляции, используемой для защиты газопроводов от коррозионного воздействия окружающей среды.

В настоящее время основным параметром, по которому принято судить о защитных функциях покрытия и степени его старения является величина переходного электрического сопротивления R [1]. Однако на эту величину значительное воздействие оказывает влажность грунта и самого покрытия. При изменениях влажности грунта, вызванных мероприятиями по водоотведению, величина электросопротивления резко возрастает. Однако, в случае, когда произошло существенное старение непосредственно материала покрытия, падение защитных свойств будет более значительным.

В настоящей работе был изучен ряд вариантов воспроизведения эффекта старения для прогнозирования в дальнейшем поведения битума в процессе службы.

Для оценки исходного состояния изоляции измерялись переходное электросопротивление R , коэффициент жесткости C_m и индекс пенетрации PI . Общая схема проведения эксперимента показана на рисунке 1. Коэффициент C_m измерялся методом динамического индентирования. Экспериментальные исследования проводились с использованием для старения термошкафа СНОЛ и установки ИПМ, разработанной в ИПФ НАН Беларуси [2].

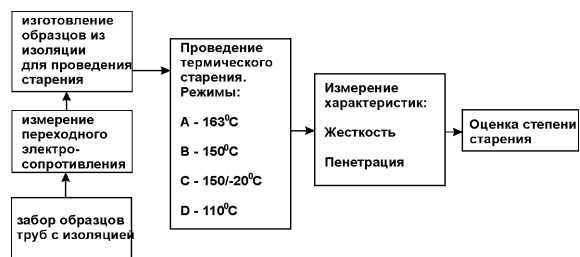


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента

Исходные свойства образцов битумно-мастичной изоляции марки БНИ-IV-3, которые были отобраны при ремонте газопроводов на различных улицах г. Минска, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные характеристики изоляции

№	R , Ом·м	C_M , кН/м	PI
1	$3,68 \cdot 10^4$	1,21	68
2	$1,06 \cdot 10^5$	1,13	59
3	8,49	0,72	44

Как показали предыдущие исследования [3], оптимальной моделью для описания вязкоупругого отклика битумно-мастичной изоляции является модель Максвелла, состоящая из последовательно соединенных пружины и демпфера, которые характеризуют упругие и вязкие свойства материала и которые определяются соответственно коэффициентом жесткости C_M и коэффициентом вязкости η_M .

Исходное R защитного покрытия определяли по схеме изложенной в ГОСТ 9.602-2016 после 12 суток выдержки образцов в растворе хлорида натрия при температуре 20 °С. Измерение PI (таблица 1) проводили на пенетрометре по ГОСТ 9.602-2016 с оценкой глубины погружения иглы в испытуемый образец битума при температуре 25 °С, нагрузке 100 г и продолжительности приложения нагрузки 5 секунд. Для проведения экспериментов по термическому старению изоляция снималась с труб, измельчалась и засыпалась в специально изготовленные ячейки. Далее происходил ее нагрев при температуре 100 °С в течение 60 минут в результате чего она размягчалась и растекалась ровным слоем в ячейке.

На рисунок 2 показано изменение характеристик от времени старения по режимам, представленным на рисунке 1. Измерения проводились через 1, 2, 4, 6, 8 и 10 часов. После этих периодов времени образцы извлекались из термощафа и охлаждались до 24 ± 1 °С для проведения испытаний. Для независимой оценки изменения свойств после окончания старения было также проведено измерение индекса пенетрации (рисунок 2, *d*). Анализ зависимостей на рисунок 2 показывает, что наибольшее изменение C_M (~ 22 %) при тепловом старении по методу А (163 °С) в течение 10 часов произошло для образца 1. При этом максимальное значение коэффициента жесткости было достигнуто через 4 часа. Для образца 2 C_M приобрел свою максимальную величину уже после 2 часов старения, а отклонение при этом составило 19 %. Наименьшее изменение было характерно для образца 3 – 8,5 %. Однако оно было достигнуто за минимальное для исследуемых образцов время – 2 ч.

Для метода В (150 °С) и С (150/–20 °С) C_M для всех образцов приобретал свое максимальное значение несколько позже. При этом термодиклирование с охлаждением образцов до –20 °С практически не давало вклада в изменение C_M . Старение

при 110 °С (метод D) не привело к значимому увеличению жесткости.

Изменение индекса пенетрации для метода А составило: 14,7 %, 16,9 % и 4,5 % для образцов 1, 2 и 3 соответственно.

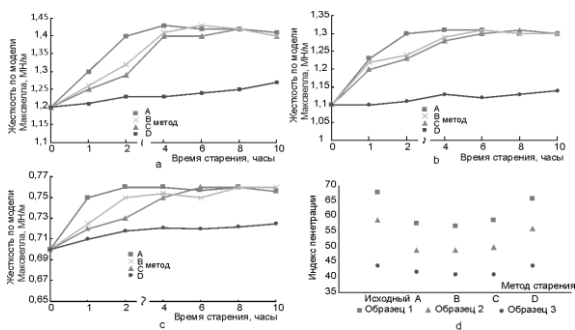


Рисунок 2 – Зависимости изменения характеристик от времени старения для образцов, представленных в таблице 2: *a* – образец № 1; *b* – образец № 2; *c* – образец № 3; *d* – изменение индекса пенетрации

Полученные результаты позволяют утверждать, что оптимальным в дальнейшем является прогнозирование остаточного ресурса изоляции по скорости достижения предельного состояния и процентному изменению значения жесткости материала покрытия. Так, для образца 2, несмотря на то, что значение переходного электросопротивления $R = 1,06 \cdot 10^5$ Ом·м является наибольшим из исследуемых образцов, его выход из строя по данным теплового старения является более вероятным, поскольку предельное состояние достигается за более короткое время. Что касается образца 3, то, по видимому, он уже находится в предельном состоянии и покрытие из этого материала не способно выполнять защитную функцию. Этот материал практически сразу достигает максимального значения жесткости (через 1 час после начала старения). Абсолютное изменение жесткости для него является минимальным, как и значение переходного электросопротивления $R = 8,49$ Ом·м (таблица 1).

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ: грант T22-005 «Изучение процессов деградации изоляционных покрытий газопроводов и разработка методики неразрушающего контроля их свойств и остаточного ресурса».

Литература

1. Методика определения остаточного ресурса изоляционных покрытий подземных трубопроводов: РД 39Р-00147105-025-02. – Минэнерго России, Уфа : Монография, 2002 г.
2. Influence of the dynamic indentation parameters on the behavior of metals during the penetration of an indenter with a spherical tip / A.P. Kren [et al.] // Russian Metallurgy (Metally). – 2021. – № 4. – P. 563–569.
3. Оценка степени старения битумно-мастичной изоляции газопроводов по изменению механических характеристик / А.П. Крень [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2022. – № 12, Т. 25. – С. 32–38.